

RU2182727

Publication Title:

METHOD FOR SEARCHING MOTION VECTORS OF PARTS IN AMPLITUDE IMAGES

Abstract:

Abstract of RU2182727

video information engineering; digital coders for video telephones, video conference communications, digital television broadcast at standard and high frequencies. SUBSTANCE: method involves conversion of image frame sequence into digital form; storage of brightness digital readings for current and reference frames; division of current frame into macroblocks and search for motion vectors of each macroblock of current frame relative to reference frame by minimizing check sum of given macroblock for set of motion vectors under discussion, this sum being the sum of normalized pixel-by-pixel layer difference in current and reference frames; selection of greatest number of pixels characterizing macroblock value relief among plurality of pixels of each macroblock; calculation of mentioned check sum using only chosen reference pixels, coordinates of chosen pixels in macroblock being found using values of all macroblock pixels. EFFECT: reduced number of computer operations, enlarged vector search area ensuring better quality of reproducing fast moving parts. 6 cl, 21 dwg

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide ab0

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>



(19) RU (11) 2 182 727 (13) С2
(51) МПК⁷ G 06 K 9/00, G 06 T 7/20

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

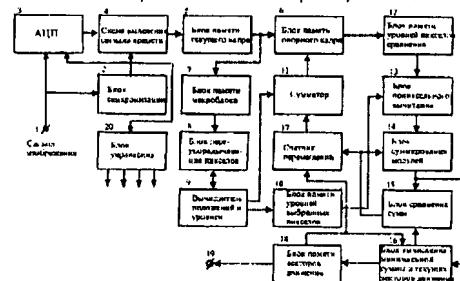
- (21), (22) Заявка: 2000119205/09, 20.07.2000
(24) Дата начала действия патента: 20.07.2000
(46) Дата публикации: 20.05.2002
(56) Ссылки: RU 2137194 С1, 10.09.1999. RAO K.R., HWANG J.J. TECHNIQUES AND STANDARDS FOR IMAGE, VIDEO AND AUDIO CODING, 1996, PRENTICE-HALL PTR, ISBN 0-13-309907-5, с. 89-91. SU 809978 A, 07.02.1981. RU 2119269 С1, 20.09.1998. RU 2003174 С1, 15.11.1993. GB 2282021 A, 22.03.1995. US 6014186 A, 11.01.2000. EP 0652536 A2, 10.05.1995. EP 0896300 A2, 10.02.1999.
(98) Адрес для переписки:
103064, Москва, ул. Казакова 16, НИИР
Канцелярия "Патентные поверенные Квашнин,
Сапельников и партнеры", Квашнину В.П.

- (71) Заявитель:
Дворкович Александр Викторович,
Дворкович Виктор Павлович,
Соколов Александр Юрьевич
(72) Изобретатель: Дворкович А.В.,
Дворкович В.П., Соколов А.Ю.
(73) Патентообладатель:
Дворкович Александр Викторович,
Дворкович Виктор Павлович,
Соколов Александр Юрьевич

(54) СПОСОБ ПОИСКА ВЕКТОРОВ ДВИЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

(57)
Изобретение относится к видеинформационной технике и может найти применение при разработке цифровых кодирующих устройств для видеотелефонии, видеоконференцсвязи, телевизионного цифрового вещания стандартной и высокой четкости. Технический результат: сокращение количества вычислительных операций, увеличение зоны поиска векторов движения деталей в динамических изображениях и вследствие этого повышение качества воспроизведения быстро перемещающихся деталей. Этот технический результат получается за счет того, что в способе поиска векторов движения деталей в динамических изображениях, включающем преобразование последовательности кадров изображений в цифровую форму, запоминание дискретных отсчетов яркости текущего и опорного кадров, разбиение текущего кадра на макроБЛОКи и поиск вектора движения каждого из макроБЛОКов текущего кадра относительно опорного кадра посредством минимизации по рассматриваемому множеству векторов движения контрольной суммы данного

макроБЛОка, являющейся суммой норм пописельной разности уровней в текущем и опорных кадрах, производят выбор среди множества пикселов каждого макроБЛОка небольшого числа пикселов, характеризующих рельеф значений макроБЛОка, вычисление упомянутой контрольной суммы лишь по выбранным опорным пикселам, при этом координаты выбранных пикселов в макроБЛОке определяют с использованием значений всех пикселов макроБЛОка. 5 з.п. ф-лы, 21 ил.



Фиг. 1-в

RU 2 182 727 С2

RU 2 182 727 С2



(19) **RU** (11) **2 182 727** (13) **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **G 06 K 9/00, G 06 T 7/20**

**RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS**

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2000119205/09, 20.07.2000

(24) Effective date for property rights: 20.07.2000

(46) Date of publication: 20.05.2002

(98) Mail address:
103064, Moskva, ul. Kazakova 16, NIIR
Kantseljarija "Patentnye poverennye
Kvashnin, Sapel'nikov i partnery". Kvashninu V.P.

(71) Applicant:
Dvorkovich Aleksandr Viktorovich,
Dvorkovich Viktor Pavlovich,
Sokolov Aleksandr Jur'evich

(72) Inventor: Dvorkovich A.V.,
Dvorkovich V.P., Sokolov A.Ju.

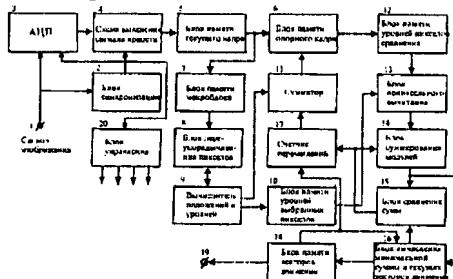
(73) Proprietor:
Dvorkovich Aleksandr Viktorovich,
Dvorkovich Viktor Pavlovich,
Sokolov Aleksandr Jur'evich

(54) METHOD FOR SEARCHING MOTION VECTORS OF PARTS IN AMPLITUDE IMAGES

(57) Abstract:

FIELD: video information engineering; digital coders for video telephones, video conference communications, digital television broadcast at standard and high frequencies. **SUBSTANCE:** method involves conversion of image frame sequence into digital form; storage of brightness digital readings for current and reference frames; division of current frame into macroblocks and search for motion vectors of each macroblock of current frame relative to reference frame by minimizing check sum of given macroblock for set of motion vectors under discussion, this sum being the sum of normalized pixel-by-pixel layer difference in current and reference frames; selection of greatest number of pixels characterizing macroblock value relief among plurality of pixels of each macroblock; calculation of mentioned check sum using only chosen

reference pixels, coordinates of chosen pixels in macroblock being found using values of all macroblock pixels. EFFECT: reduced number of computer operations, enlarged vector search area ensuring better quality of reproducing fast moving parts. 6 cl. 21 dwg



Фиг. 1-3

R U ? 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

Настоящее изобретение относится к видеоинформационной технике и может найти применение при разработке и внедрении цифровых кодирующих устройств для видеотелефонии, видеоконференцсвязи, телевизионного цифрового вещания стандартной и высокой четкости, а более конкретно к способу поиска векторов движения деталей в динамических изображениях.

Известно множество способов анализа векторов движения деталей в динамических изображениях.

Наиболее простым и точным является способ поиска векторов движения макроблоков на основе алгоритма полного перебора (K. R. Rao, J.J. Hwang. "Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding", 1996, Prentice-Hall PTR, ISBN 0-13-309907-5, стр. 89-91). Согласно этому способу для поиска вектора движения

$$\vec{v} = \langle v_x, v_y \rangle$$

разницы сигналов яркости двух макроблоков в текущем и опорном кадрах SAD со сдвигом на вектор движения:

$$SAD = \sum_{x,y=1,16} |F(x,y,t) - F(x-v_x, y-v_y, t-\Delta t)|$$

(1)

Здесь F - значение яркости, (x, y) - пространственные координаты точки в кадре, t - временной индекс кадра, суммирование производится по всем точкам макроблока. Значение \vec{v} , для которого норма SAD имеет

наименьшее значение, принимается за искомый вектор. Векторы движения ищутся методом полного перебора в некоторой ограниченной окрестности: $\min < V_x, V_y < \max$. Предполагая, что размер этой окрестности равен $\pm N$ пикселов по координатам x и y , получим для числа операций, необходимых для определения вектора движения одного макроблока размером 16×16 пикселов, величину порядка $3 \cdot 256 \cdot (2N+1)^2$. На один пикセル макроблока количество операций составляет $3 \cdot (2N+1)^2$, что уже при $N=15$ (значения векторов движения в пределах ± 15 точек) составляет значительную величину более 10^3 операций/пиксел.

Этот способ обычно используется в качестве эталонного для оценки качества других способов анализа векторов движения деталей в динамических изображениях.

Недостатком этого способа является требуемое большое количество вычислительных операций и в связи с этим низкое быстродействие.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому техническому решению является способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях (Патент РФ 2137194), предусматривающий преобразование последовательности кадров изображений в цифровую форму, запоминание дискретных отсчетов яркости текущего и соседнего по времени (опорного) кадров, разбиение текущего кадра на макроблоки и поиск вектора движения каждого из макроблоков текущего кадра относительно опорного кадра посредством минимизации по рассматриваемому множеству векторов движения контрольной суммы данного

макроблока, являющейся суммой норм попиксельной разности уровней в текущем и опорных кадрах, причем все множество пикселов рассматриваемого макроблока разбивается на участки, в каждом из которых выбирается только один пикセル, и упомянутая контрольная сумма вычисляется лишь по выбранным упомянутым пикселям, при этом упомянутые пиксели в каждом из участков выбираются таким образом, что их уровни в смежных участках наиболее отличаются друг от друга.

Дополнительно в этом способе анализа векторов движения для каждого текущего рассматриваемого значения вектора движения вычисление контрольной суммы по выбранным упомянутым пикселям производится в порядке убывания отклонения значения сигнала в каждом пикселе от среднего значения по всей совокупности упомянутых пикселов и прерыванием дальнейшего вычисления контрольной суммы в случае, когда она превышает значение минимальной контрольной суммы, найденной среди всех уже рассмотренных векторов движения.

Ограничением вышеописанного способа является разбиение макроблока на несколько строго зафиксированных участков и выбор по заданному алгоритму характерного пикселя без учета структуры сигнала в остальных участках, что ограничивает и является лишь одним из возможных способов выборов опорных пикселов.

В Патенте РФ 2137194 рассмотрен также второй способ выбора опорных пикселов макроблока с помощью использования порядковой статистики для всех пикселов макроблока, что также ограничивает и является лишь одним из возможных способов выборов опорных пикселов. Кроме того, согласно патенту РФ 2137194 поиск векторов движения производится по опорным пикселям макроблока только для исходного разрешения кадра, что ограничивает технический результат по уменьшению числа вычислительных операций.

В основу настоящего изобретения положена задача создания способа поиска векторов движения деталей в динамических изображениях, позволяющего уменьшить количество вычислительных операций при более общем возможном выборе структуры опорных точек, характеризующих рельеф ("скелет") значений макроблока.

Другая техническая задача, поставленная в рамках настоящего изобретения, заключается в создании способа поиска векторов движения деталей в динамических изображениях, позволяющего снизить вычислительную сложность устройства для вычисления векторов движения на аппаратном уровне, повысить быстродействие кодирующих устройств и вследствие этого производить анализ движения деталей динамических изображений в больших областях, сократив при этом объем сжатой информации и повысив качество воспроизведения быстродвижущихся деталей.

Эти и другие задачи решены посредством способа анализа векторов движения деталей в динамических изображениях, включающего преобразование последовательности кадров

RU 2182727 C2

RU

изображений в цифровую форму, запоминание дискретных отсчетов пикселов текущего и соседнего по времени (опорного) кадров, разбиение текущего кадра на макроблоки и поиск вектора движения каждого из макроблоков текущего кадра относительно опорного кадра посредством минимизации по рассматриваемому множеству векторов движения контрольной суммы данного макроблока, являющейся суммой норм поликсельной разности уровней в текущем и опорном кадрах, и согласно которому в соответствии с изобретением среди множества пикселов каждого макроблока выбирают небольшое число пикселов, характеризующих рельеф значений макроблока, и упомянутую контрольную сумму вычисляют лишь по выбранным опорным пикселам, при этом координаты выбранных пикселов в макроблоке определяют с использованием значений всех пикселов макроблока.

Было бы целесообразно, перед выбором опорных пикселов производить передискретизацию исходного и опорного кадров с уменьшением пространственного разрешения по вертикали и горизонтали в заданное число раз посредством применения фильтра к исходному и опорному кадрам, после чего для каждого получившегося макроблока меньшего размера производить выбор опорных пикселов и находить один или несколько наилучших векторов движения по отношению к опорному кадру меньшего разрешения посредством минимизации контрольной суммы с использованием выбранных опорных пикселов, значение полученных одного или нескольких векторов движения увеличиваются в отношении исходного разрешения кадра и разрешения, полученного после передискретизации, после этого в окрестностях одного или нескольких полученных векторов производят поиск вектора движения макроблока в кадре исходного разрешения с точностью до целых либо половинных значений пикселов посредством минимизации контрольной суммы с использованием пикселов макроблока исходного разрешения.

Было бы не менее целесообразно для выбора опорных пикселов производить переупорядочивание пикселов каждой из строк макроблока в порядке возрастания их значений, выбрать несколько равнотостоящих друг от друга пикселов в порядке возрастания получившихся номеров пикселов, для выбранных таким образом в макроблоке пикселов произвести переупорядочивание по столбцам в порядке возрастания их значений, выбрать несколько равнотостоящих друг от друга пикселов в порядке возрастания получившихся номеров пикселов, при этом для каждого из выбранных пикселов запомнить их координаты в исходном макроблоке.

Разумно для выбора опорных пикселов в каждой из строк макроблока выбирать несколько первых пикселов в порядке убывания абсолютного отклонения значений пикселов от их среднего значения по строке, среди выбранных таким образом пикселов в каждом из столбцов выбирать несколько первых пикселов в порядке убывания абсолютного отклонения значений пикселов от их среднего значения по столбцу, при этом

для каждого из выбранных пикселов запомнить их координаты в исходном макроблоке.

Возможно для выбора опорных пикселов каждый макроблок разбить на несколько областей, в каждой из которых выбирать в качестве опорного только один пикセル, имеющий максимальное либо минимальное значение внутри данной области, при этом, если в данной области выбран пикセル с максимальным значением, то в соседней с ним области выбрать пикセル с минимальным значением, и наоборот, причем для каждого из выбранных пикселов запоминают их координаты в исходном макроблоке.

Возможен и другой вариант, при котором для каждого текущего рассматриваемого значения вектора движения вычисление контрольной суммы с использованием выбранных опорных пикселов производят в порядке убывания отклонения значения сигнала в каждом пикселе от среднего значения по всей совокупности опорных пикселов и прерывают дальнейшее вычисление контрольной суммы в случае, когда она превышает К-ое минимальное значение контрольной суммы, найденной среди всех уже рассмотренных векторов движения.

В дальнейшем настоящее изобретение будет более подробно раскрыто посредством более подробного описания способа анализа векторов движения деталей в динамических изображениях устройств, реализующих заявляемый способ, а также поясняющих чертежей, на которых:

Фиг. 1-а изображает блок-схему устройства для реализации способа поиска векторов движения деталей в динамических изображениях;

Фиг. 1-б изображает блок-схему еще одного устройства для реализации способа поиска векторов движения деталей в динамических изображениях, предусматривающего пространственную передискретизацию исходного изображения и предварительный поиск векторов движения по отношению к передискретизованному изображению;

Фиг. 2 приведены текущий (а) и опорный кадры (б) видеоследовательности "Сад цветов";

Фиг. 3 иллюстрирует увеличенное изображения одного макроблока (а) из последовательности "Сад цветов", на примере которого излагаются предлагаемые способы поиска векторов движения, и (б) участка опорного кадра, соответствующего макроблоку (а);

Фиг. 4 иллюстрирует рельеф (а) и цифровые значения (б) сигнала яркости выбранного макроблока;

Фиг. 5-11 изображают таблицы уровней пикселов выбранного макроблока, иллюстрирующие алгоритм выбора опорных точек в способе поиска векторов движения;

Фиг. 12-14 изображают векторы движения, рассчитанные согласно предлагаемому способу поиска векторов;

Фиг. 15 изображает векторы движения, рассчитанные согласно эталонному способу поиска векторов движения;

Фиг. 16 изображает таблицу результатов кодирования последовательности "Сад цветов" в рамках стандарта MPEG-2,

RU 2 1 8 2 7 2 7 C 2

илюстрирующую эффективность предлагаемых способов поиска векторов движения;

Фиг. 17-18 изображают таблицы значений отсчетов выбранного макроблока, иллюстрирующие алгоритм выбора опорных точек в способе поиска векторов движения;

Фиг. 19 приведены векторы движения, рассчитанные по заявляемому способу поиска векторов;

Фиг. 20-21 изображают таблицы результатов кодирования последовательности "Сад цветов" в рамках стандарта MPEG-2, иллюстрирующие эффективность способа поиска векторов движения.

В дальнейшем заявляемый способ поиска векторов движения деталей в динамических изображениях раскрывается более подробно посредством анализа блок-схем устройств, реализующих заявляемый способ. Блок-схема устройства, изображенная на фиг.1-а, содержит подключенные ко входу 1 параллельно блок синхронизации 2 и последовательно соединенные аналого-цифровой преобразователь 3, схему выделения 4 сигнала яркости, последовательно соединенные блок памяти 5 текущего кадра и блок памяти 6 опорного кадра, подключенные к выходам блока памяти текущего кадра последовательно соединенные блок памяти 7 текущего макроблока, блок переупорядочивания 8 пикселов макроблока и вычислитель 9 положений и уровней характерных пикселов макроблока, первые выходы которого соединены с блоком памяти 10 уровней выбранных пикселов, а вторые выходы - через сумматор 11 ко входам управления блока памяти опорного кадра 6, выходы которого через блок памяти 12 уровней пикселов сравнения подключены к первым выходам блока 13 пописельного вычитания уровней характерных пикселов текущего и опорного кадров, вторые выходы которого подключены ко вторым выходам блока памяти 10, а выходы - к блоку суммирования 14 модулей, выходы которого параллельно подключены к блоку сравнения сумм 15 и блоку вычисления 16 минимальной суммы и текущих векторов движения, вторые выходы блока сравнения сумм 15 подключены к выходам блока 16, а выходы - непосредственно ко входам управления блока 14 и через счетчик перемещений 17 ко второму входу сумматора 11, вторые выходы блока 16 подключены через блок памяти 18 векторов движения к выходам устройства 19, вторые выходы блока 18 соединены параллельно с дополнительными входами блока 16 и счетчика 17, выходы блока синхронизации 2 соединены со входами управления блоков 3 и 4, а также через блок управления 20 со входами синхронизации работы блоков 5-18 устройства.

Блок-схема устройства, изложенная на фиг.1-б, содержит подключенные ко входу 1 параллельно блок синхронизации 2 и последовательно соединенные аналого-цифровой преобразователь 3, схему выделения 4 сигнала яркости, последовательно соединенные блок передискретизации 5, блок памяти 6 текущего кадра и блок памяти 7 опорного кадра, подключенные к выходам блока памяти

текущего кадра последовательно соединенные блок памяти 8 текущего макроблока, блок переупорядочивания 9 пикселов макроблока и вычислитель 10 положений и уровней характерных пикселов макроблока, первые выходы которого соединены с блоком памяти 11 уровней выбранных пикселов, а вторые выходы - через сумматор 12 ко входам управления блока памяти опорного кадра 6, выходы которого через блок памяти 13 уровней пикселов сравнения подключены к первым выходам блока 13 пописельного вычитания уровней характерных пикселов текущего и опорного кадров, вторые выходы которого подключены ко вторым выходам блока памяти 11, а выходы - к блоку суммирования 15 модулей, выходы которого параллельно подключены к блоку сравнения сумм 16 и блоку вычисления 17 минимальной суммы и текущих векторов движения, вторые выходы блока сравнения сумм 16 подключены к выходам блока 17, а выходы - непосредственно ко входам управления блока 15 и через счетчик перемещений 18 ко второму входу сумматора 12, вторые выходы блока 17 подключены через блок памяти 19 векторов движения к блоку памяти текущего кадра 21, вторые выходы блока 19 соединены параллельно с дополнительными входами блока 17 и счетчика 18, выходы блока синхронизации 2 соединены со входами управления блоков 3 и 4, а также через блок управления 20 со входами синхронизации работы блоков 6-19 устройства, блока памяти опорного кадра 21, вход которого подключен к выходу схемы выделения сигнала яркости 4, блока памяти опорного кадра 22, один вход которого подключен к выходу блока памяти текущего кадра 21, а другой к выходу сумматора 25, блока памяти уровней пикселов сравнения 23, вход которого подключен к блоку памяти опорного кадра 22, блока памяти макроблоков 24, вход которого подключен к выходу блока памяти опорного кадра 21, сумматора 25, один вход которого подключен к выходу блока памяти макроблока 24, а другой к выходу счетчика перемещений 27, блока пописельного вычитания 26, один вход которого подключен к выходу блока памяти уровней пикселов сравнения 23, а другой к блоку памяти уровней всех пикселов 29, счетчика перемещений 27, один вход которого подключен к блоку 31 памяти векторов движения, а другой к блоку сравнения сумм 30, блока суммирования модулей 28, один вход которого подключен к выходу блока пописельного вычитания 26, а другой к выходу блока сравнения сумм 30, блока памяти уровней всех пикселов 29, вход которого подключен к блоку памяти макроблока 24, блока сравнения сумм 30, один вход которого подключен к блоку суммирования модулей 28, блока памяти векторов движения 31, вход которого подключен к блоку вычисления минимальной суммы и текущих векторов движения 32 и блока вычисления минимальной суммы и текущих векторов движения 32, вход которого подключен к выходу блока памяти векторов движения 31, а другой к выходу блока суммирования модулей 28.

Сущность предлагаемого способа вычисления векторов движения состоит в следующем. Изложение предлагаемого

RU 2 1 8 2 7 2 7 C 2

способа иллюстрируется на примере анализа вектора движения одного из макроблоков динамического изображения (фиг.2). На фиг. За приведена в увеличенном масштабе часть изображения текущего кадра в увеличенном масштабе с обведенным макроблоком, вектор движения которого определяется в зоне опорного кадра, изображенной на фиг.3б. Макроблок имеет размер 16x16 пикселов, зона поиска движения - 64x64 пикселя. На фиг.3б обозначено положение смещенного макроблока в опорном кадре.

В случае использования стандартного метода поиска вектора движения в указанной зоне поиска требуется использование вычислительной мощности в $3 \cdot 49^2 = 7203$ операций на каждый пиксель макроблока. Рельеф сигнала яркости макроблока изображен на фиг. 4а, а на фиг.4б приведены цифровые значения пикселов этого макроблока.

В соответствии с предлагаемым способом в макроблоке выбирается несколько опорных пикселов, характеризующих рельеф (скелет) макроблока. Рассмотрим пример, когда число опорных пикселов равняется 16.

Существуют различные предлагаемые способы выбора опорных пикселов. В соответствии с одним из заявляемых способов выбора опорных пикселов все пиксели макроблока переупорядочиваются по строкам в порядке возрастания их значений (фиг.5). После переупорядочивания производят выбор пикселов с номерами столбцов $x=\{1, 6, 11, 16\}$ (фиг.6). После выбора столбцов производят переупорядочивание выбранных пикселов по столбцам в порядке возрастания значений (фиг.7). После переупорядочивания по столбцам производят конечный выбор опорных пикселов с номерами строк $y=\{1, 6, 11, 16\}$ (фиг.8). При выборе опорных пикселов их координаты запоминают в исходном макроблоке, выбранные опорные пиксели обозначены подчеркиванием (фиг.4-8).

Согласно еще одному заявляемому способу выбора опорных пикселов из исходных пикселов макроблока (фиг.4) выбирают в каждой строке такие пиксели, которые имеют максимальное абсолютное отклонение своих значений от среднего значения уровня по строке (фиг.9). После этого выбирают в каждом сформированном столбце такие пиксели, которые имеют максимальное абсолютное отклонение своих значений от среднего значения уровня по столбцам (фиг.10). Данные выбранные пиксели используют в качестве опорных, их положения в исходном макроблоке показаны подчеркиванием (фиг.11).

Для поиска вектора движения

$$\vec{v} = \langle v_x, v_y \rangle \text{ рассматривают сумму нормы}$$

разницы сигналов выбранных пикселов для двух макроблоков в текущем и опорном кадрах SAD1 со сдвигом на вектор движения:

$$SAD1 = \sum_{\substack{\text{(x,y)} - \text{координаты} \\ \text{выбранных точек} \\ \text{в соответствии с} \\ \text{чертежом макроблока}}} |f(x, y, t) - f(x-v_x, y-v_y, t-\Delta t)|$$

(2)

В способе поиска векторов движения для выбора опорных пикселов необходимо выполнить порядка

$$(16 + (16+1) + 16/2 + \sqrt{M} + (16+1) * 16/2) / 256 \approx 10$$

обращений к одному пикселу макроблока, где M - число опорных пикселов (в данном случае M=16), для поиска вектора движения с использованием (2) необходимо выполнить порядка $\frac{M}{256} \cdot 3 \cdot (2N+1)^2$ операций. При окне

поиска $N > 10$ количество операций, необходимых для поиска опорных пикселов пренебрежимо мало по сравнению с числом операций, необходимых для вычисления суммы (2) и поиска вектора движения. Поэтому в способе достигается ускорение поиска векторов приблизительно в $256/M=16$ раз.

Эффективность предложенного способа поиска векторов движения характеризуется фиг.12-16. На фиг.12-13 показаны векторы движения. На фиг.15 показаны векторы движения, полученные стандартным эталонным алгоритмом с использованием всех пикселов макроблока (1). Как видно из фиг.12-15, векторы движения в большинстве совпадают. Чтобы дать количественную оценку предложенного способа, рассмотрим результаты кодирования динамической последовательности кадров (фиг.16) в рамках стандарта MPEG-2 (ISO/IEC 13818-2. Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information. Part 2: Video / Ed.1 JTS I/SC 29, 1994) с использованием предложенного способа. Поскольку в рамках стандарта возможно использование векторов движения с точностью до половинных значений пикселов, рассмотрим два случая кодирования - без уточнения полученных векторов по предложенными способами и с уточнением в пределах +/-0.5 пикселя с использованием интерполяции между пикселями. Для уточнения будем использовать контрольную сумму (1) со всеми 256 пикселями макроблока. Уточнение векторов до половины пикселя требует порядка $3 \cdot 9 = 27$ дополнительных операций на каждый пиксель. Как следует из анализа результата кодирования (фиг.16), предложенные способы дают существенное ускорение поиска векторов движения (в 16 раз при 16 опорных точках), при этом коэффициент сжатия ухудшается не более 1-3% в случае использования точности векторов до 0.5 пикселя и 4-10% при точности векторов в один пиксель.

Сущность предлагаемого способа вычисления векторов движения, предусматривающего пространственную передискретизацию исходного изображения и предварительный поиск векторов движения по отношению к передискретизованному изображению, состоит в следующем.

Изложение предлагаемого способа иллюстрируется на примере одного из макроблоков динамического изображения (фиг.2) с использованием наилучшего алгоритма поиска опорных пикселов с учетом значений в таблице на фиг.16. В отличие от описанного выше принципа поиска векторов в способе перед выбором опорных точек для каждого макроблока проводят передискретизацию исходного и опорного кадров. Рассмотрим случай, когда передискретизацию производят с уменьшением пространственного разрешения

RU 2 1 8 2 7 2 7 C 2

в 2 раза с использованием усреднения соседних пикселов:

$$F^{(d)}(x, y) = \frac{1}{4} (F(2x, 2y) + F(2x+1, 2y) + F(2x, 2y+1) + F(2x+1, 2y+1)) \quad (3)$$

Здесь $F^{(d)}(x, y)$ - значение пикселя после передискретизации. В соответствии с (3) отсчеты пикселов макроблока, приведенного на фиг.3-4, после передискретизации будут иметь значения, показанные на фиг.17.

Согласно наилучшему способу выбора опорных пикселов передискретизованный макроблок размером 8×8 пикселов делят на несколько областей, в каждой из которых выбирают одно максимальное либо минимальное значение в чередующемся порядке в качестве опорного пикселя. Рассмотрим случай, когда число опорных пикселов равно 16. На фиг.18 показан макроблок, разделенный на 16 областей, (а) - разбиение макроблока на участки и порядок выбора опорных пикселов, (б) - положение выбранных пикселов (опорные пиксели помечены подчеркиванием).

Для поиска вектора движения $\vec{v} = (v_x, v_y)$ в предлагаемом способе

рассматривают сумму нормы разности сигналов выбранных пикселов для двух макроблоков в текущем и опорном передискретизованных кадрах SAD1d со сдвигом на вектор движения:

$$\text{SAD1d} = \sum_{\substack{(x,y)-\text{координаты} \\ \text{выбранных} \\ \text{в соответствующих} \\ \text{участках} \\ \text{макроблока}}} |F^{(d)}(x, y, t) - F^{(d)}(x-v_x, y-v_y, t-\Delta t)| \quad (4)$$

В процессе минимизации (4) в окне поиска +/- ($N/2$) пикселов определяют К векторов V1d, V2d, V3d, ..., VKd, дающих наименьшие значения SAD1d:

$$\text{Min} = \text{SAD1d}(V1d) \leq \text{SAD1d}(V2d) \leq \text{SAD1d}(V3d) \dots (5)$$

После нахождения наилучших векторов V1d, V2d, V3d, ..., VKd, соответствующих передискретизованным опорному и текущему кадрам, значение векторов увеличивают в отношение разрешений исходного и передискретизированного кадров, в данном случае в 2 раза. Далее в небольшой окрестности (например, +/- 1 пиксель) от каждого из полученных значений векторов ($2 \cdot V1d, 2 \cdot V2d, 2 \cdot V3d, \dots, 2 \cdot VKd$) производят минимизацию контрольной суммы (1) и определяют наилучший вектор движения, обеспечивающий минимум (1). Данный вектор принимается за конечный вектор движения макроблока в случае использования точности векторов 1 пиксель.

При использовании точности векторов движения, равной половине пикселя, как это, например, используется в стандарте MPEG-2, последний найденный выше вектор уточняется с использованием (1) в окрестности +/- 0,5 пикселя своего значения либо сразу в малых окрестностях (например, +/- 1 пиксель) векторов $2 \cdot V1d, 2 \cdot V2d, 2 \cdot V3d, \dots, 2 \cdot VKd$ с точностью до 0,5 пикселя.

В описываемом способе поиска векторов

движения на этапе поиска векторов движения в передискретизованном кадре число операций на один пикセル передискретизованного кадра составляет $\frac{16}{64} \cdot \frac{N}{Z} \cdot (2 \cdot 1 + 1)$, где Z - отношение исходного

и передискретизированного разрешений (в данном случае $Z=2$) или $\frac{1}{4} \cdot \frac{16}{64} \cdot \frac{N}{Z} \cdot (2 \cdot 1 + 1)$

пикселя в кадре исходного разрешения. Уточнение векторов движения в окрестности каждого из найденных векторов занимает небольшое количество операций порядка $3K(2 \cdot 1 + 1)^2$ на пиксель в кадре исходного разрешения, где K - число наилучших векторов, и не зависит от N. При небольших K ≤ 3 и N > 10 последним числом можно пренебречь. В этом случае ускорение по сравнению с эталонным способом полного перебора составляет

$$20 \quad \frac{1}{4} \cdot \frac{16}{64} \cdot \frac{N}{Z} \cdot (2 \cdot 1 + 1)^2 / 3 \cdot \frac{16}{64} \cdot \frac{N}{Z} \approx 16Z^2 = \\ = 64 \text{ при } Z = 2.$$

Дополнительно скорость анализа векторов движения макроблоков можно улучшить согласно изобретению за счет определенного подбора вычисления контрольной суммы SAD1 или SAD1d. Для этого вычисляют среднее значение выбранных пикселов макроблока

$$30 \quad F_{cp} = \frac{1}{M} \sum_{\substack{(x,y)-\text{координаты} \\ \text{выбранных точек} \\ \text{в соответствующих} \\ \text{участках макроблока}}} F(x, y, t) \quad (6)$$

35 Затем вычисляют модули разностей $X(x, y) = |F(x, y, t) - F_{cp}|$.

где (x, y) - координаты выбранных точек в соответствующих участках макроблока,

40 и контрольную сумму (2) вычисляют последовательно по координатам (x, y), для которых величины X(x, y) располагаются в убывающей последовательности.

В предлагаемом способе анализа векторов движения в случае, если текущий выбранный вектор $\vec{v} = (v_x, v_y)$ не

50 соответствует истинному вектору движения, для которого контрольная сумма минимальна, рассчитываемая контрольная сумма статистически достаточно быстро возрастает и в этом случае обычно не требуется производить вычисления по всем выбранным точкам макроблока. При этом в среднем по кадру скорость анализа движения макроблоков дополнительно возрастает в два раза.

55 В предлагаемом способе анализа векторов движения вычисление контрольной суммы прекращается, если ее текущее значение превышает К-ое минимальное значение контрольной суммы среди уже рассмотренных значений векторов движения. При этом в среднем по кадру скорость анализа движения макроблоков дополнительно возрастает в полтора-два раза.

60 Эффективность предлагаемого способа анализа движения по способу с использованием предварительной

RU 2 1 8 2 7 2 7 C 2

RU

передискретизации изображения иллюстрируется на фиг.19-20. На фиг.19 приведены векторы движения, полученные с использованием наилучшего способа выбора опорных пикселов при $K=3$, а на фиг.20 приведены результаты кодирования тестовых динамической последовательности кадров в рамках стандарта MPEG-2 ($K=1, 2$ и 3).

Из таблицы на фиг.20 следует, что предлагаемый способ при $Z=2$ уступает по коэффициенту сжатия наилучшему эталонному способу перебора по всем пикселям не более 1% уже при $K=2$ и 3 и превосходит рассмотренные выше способы, не использующие передискретизацию (фиг.19). При этом коэффициент ускорения анализа движения по сравнению с эталонным способом составляет 64 раза при $Z=2$.

Заметим, что в предлагаемом способе фильтрация (по уравнению 3) улучшает результат. Например, если бы передискретизация проводилась без фильтрации, а только за счет прореживания по формуле

$$F^{(d)}(x, y) = F(2x, 2y), \quad (7)$$

то результат по коэффициенту сжатия был бы хуже на 1-2% (фиг.20).

Устройство для реализации предложенного способа анализа векторов движения без использования фильтрации работает следующим образом.

Предположим, на вход 1 устройства (фиг.1-а) поступает аналоговый сигнал изображения, например полный цветовой телевизионный сигнал стандартных систем SECAM, PAL или NTSC. С входа этот сигнал подается параллельно на блок синхронизации 2, выделяющий соответствующие сигналы и обеспечивающий формирование импульсов дискретизации, и на аналого-цифровой преобразователь АЦП 2, в котором дискретные отсчеты сигнала преобразуются в цифровой код, поступающий на схему выделения сигнала яркости 4, устраняющую цветовые поднесущие из полного цветового телевизионного сигнала. Выделение сигнала яркости необходимо, поскольку в соответствии со стандартами MPEG анализ движения деталей изображения осуществляется только при использовании яркостной компоненты изображения. Синхронизация работы схемы 4 осуществляется также дискретизирующими импульсами, поступающими с блока синхронизации 2.

Цифровой поток сигнала яркости со схемы 4 последовательно поступает на блок памяти 5 текущего кадра и блок памяти 6 опорного кадра, в которых запоминаются дискретные отсчеты сигналов яркости текущего кадра, анализ движения макроблоков которого осуществляется относительно соответствующих структур опорного кадра.

Выходы блока 5 соединены со входами блока памяти макроблока 7, анализ движения которого производится. В этом блоке запоминаются значения рельефа сигнала яркости макроблока 16×16 пикселов. После вычисления вектора движения 1-го макроблока, соответствующего левому верхнему углу изображения, в память этого блока вводится рельеф сигнала яркости следующего за ним макроблока. Отсчет номера макроблока осуществляется обычно слева направо и сверху вниз.

В вычислителе 9 выделяются значения уровней яркости выбранных пикселов и их координаты x и y . В этом же блоке осуществляется преобразование выбранных пикселов в последовательность по мере убывания отклонений значений уровней пикселов от их среднего значения.

Далее уровни сигналов яркости в рассчитанной пиксельной последовательности запоминаются в блоке памяти 10, а их координаты (x, y) через сумматор 11 поступают на вход управления блока памяти опорного кадра 6, обеспечивая запись в блоке 12 памяти уровней пикселов сравнения уровней пикселов с координатами $(x-V_{0x}-V_{x}, y-V_{0y}-V_y)$.

где (V_{0x}, V_{0y}) - координаты начального вектора смещения, которые определяются, например, из результатов оценки движения соответствующих макроблоков в предыдущем кадре или из иных соображений или задаются равными нулю,

(V_x, V_y) - координаты текущего вектора смещения макроблока, при изменении которых производится анализ контрольной суммы разностей модулей уровней выбранных пикселов в макроблоке и пикселов в опорном кадре.

С блоков памяти 10 и 12 в указанной выше последовательности значения соответствующих уровней пикселов поступают на блок попиксельного вычитания 13 и с его выхода - на блок суммирования модулей 14. Блоки 13 и 14 совместно реализуют операцию, определяемую соотношением (2).

Последовательно вычисляемая в блоке 14 сумма поступает параллельно на блок сравнения сумм 15 и блок вычисления 16 минимальной суммы и соответствующих ей векторов движения. Первоначально сумма устанавливается нереально большой величиной.

При вычислении суммы для начального вектора движения эта сумма запоминается в блоке 16 и становится опорной для последующих расчетов. По окончании расчета суммы при нулевом векторе (V_x, V_y) блок сравнения 15 выдает команду на изменение координат вектора движения в счетчик перемещений 17 и обнуление результатов суммирования в блок 14.

В счетчике 17 формируется вектор $(-V_{0x}-V_x, -V_{0y}-V_y)$, который затем суммируется в схеме 11 с текущими значениями координат выбранных характерных пикселов макроблока. Полученные координаты определяют запись уровней яркости соответствующих пикселов из блока 6 в блок 12, и процесс анализа вектора движения продолжается до тех пор, пока не найден будет истинный вектор движения макроблока.

Ускорение процесса анализа движения за счет определенного порядка обработки опорных пикселов согласно настоящему изобретению обеспечивается непрерывным сравнением текущей суммы и минимальной суммы в блоке 15. Если текущая сумма (до окончания процесса суммирования по всем выбранным пикселям) превышает ранее найденную минимальную сумму, то процесс суммирования прекращается и счетчик 17 перемещений изменяет координаты текущего вектора движения макроблока.

RU 2182727 C2

Результаты вычисления векторов движения, определяемые в блоке 16, запоминаются блоком памяти 18. С блока 18 координаты векторов движения подаются на цифровые выходы устройства 19.

Выполнение операций различных блоков устройства в описанной выше последовательности задается блоком управления, синхронизируемым импульсами с выхода блока синхронизации.

Работа устройства для реализации предложенного способа анализа векторов движения с использованием пространственной передискретизации изображения (фиг. 1-б) обусловлена работой блоков 1-5, обеспечивающих дискретизацию аналогового сигнала и описанных выше работы блока управления 20, работы блока передискретизации 5, работы вычислителя векторов уменьшенного разрешения (блоки 6-19) и работы вычислителя векторов конечного разрешения в (блоки 21-32). Работа вычислителя векторов уменьшенного разрешения аналогична работе устройства на фиг.1-а. Отличие заключается в том, что блоки 6-19 работают с уменьшенным разрешением кадра, соответственно макроблоки имеют размер 8x8 пикселов. Кроме того, результатом работы вычислителя векторов уменьшенного разрешения является несколько наилучших векторов, которые подаются на вход вычислителя векторов для конечного разрешения. Для вычисления наилучших векторов в блоке 17 запоминают несколько наилучших контрольных сумм и соответствующих им векторов движения. В сумматоре 25 значения векторов движения увеличиваются в отношении исходного и передискретизованного разрешений и добавляются к координатам смещения в опорном кадре с использованием счетчика перемещений 27. Работа вычислителя векторов конечного разрешения (блоки 21-31) также аналогична работе блоков 5-18 на фиг.1-а за исключением того, что в устройстве отсутствуют блоки переупорядочивания и вычисления положений опорных пикселов, так как на этапе уточнения векторов конечного разрешения используются все пиксели каждого макроблока.

Формула изобретения:

1. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях, предусматривающий преобразование последовательности кадров изображений в цифровую форму, запоминание дискретных отсчетов пикселов текущего и опорного кадров, разбиение текущего кадра на макроблоки и поиск вектора движения каждого из макроблоков текущего кадра относительно опорного кадра посредством минимизации по рассматриваемому множеству векторов движения контрольной суммы данного макроблока, являющейся суммой норм попиксельной разности уровней в текущем и опорном кадрах, отличающийся тем, что среди множества пикселов каждого макроблока выбирают опорные пиксели, уровни которых характеризуют рельеф макроблока, и упомянутую контрольную сумму вычисляют лишь по выбранным опорным пикселям, при этом координаты пикселов, характеризующих рельеф макроблока, выбирают путем анализа

значений уровней всех пикселов макроблока.

2. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях по п. 1, отличающийся тем, что перед выбором опорных пикселов производят передискретизацию исходного и опорного кадров с уменьшением пространственного разрешения по вертикали и горизонтали в заданное число раз посредством применения фильтра к исходному и опорному кадрам, после чего для каждого получившегося макроблока меньшего размера производят выбор опорных пикселов и находят один или несколько наилучших векторов движения по отношению к опорному кадру меньшего разрешения посредством минимизации контрольной суммы с использованием выбранных опорных пикселов, значение полученных одного или нескольких векторов движения увеличивают в отношении исходного разрешения кадра и разрешения, полученного после передискретизации, в окрестностях одного или нескольких полученных векторов производят поиск вектора движения макроблока в кадре исходного разрешения с точностью до целых либо половинных значений интервалов между пикселями посредством минимизации контрольной суммы с использованием пикселов макроблока исходного разрешения.

3. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях по одному из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что для выбора опорных пикселов производят переупорядочивание пикселов каждой из строк макроблока в порядке возрастания их значений, выбор нескольких равноотстоящих друг от друга пикселов в порядке возрастания получившихся номеров пикселов, для выбранных таким образом в макроблоке пикселов производят переупорядочивание по столбцам в порядке возрастания их значений, выбор нескольких равноотстоящих друг от друга пикселов в порядке возрастания получившихся номеров пикселов, при этом для каждого из выбранных пикселов запоминают их координаты в исходном макроблоке.

4. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях по одному из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что для выбора опорных пикселов в каждой из строк макроблока выбирают несколько первых пикселов в порядке убывания абсолютного отклонения значений уровней пикселов от их среднего значения по строке, среди выбранных таким образом пикселов в каждом из столбцов выбирают несколько первых пикселов в порядке убывания абсолютного отклонения значений уровней пикселов от их среднего значения по столбцу, при этом для каждого из выбранных пикселов запоминают их координаты в исходном макроблоке.

5. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях по одному из пп. 1 и 2, отличающийся тем, что для выбора опорных пикселов каждый макроблок разбивают на несколько областей, в каждой из которых выбирают в качестве опорного только один пикセル, имеющий максимальное, либо минимальное значение уровня внутри данной области, при этом, если в данной области выбран пиксель с максимальным значением уровня, то в

R U ? 1 8 2 7 2 7 C 2

соседней с ним области выбирают пиксель с минимальным значением уровня, и наоборот, причем для каждого из выбранных пикселов запоминают их координаты в исходном макроблоке.

6. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях по одному из пл. 1 и 2, отличающийся тем, что для каждого текущего рассматриваемого значения вектора движения вычисление

контрольной суммы по выбранным опорным пикселям производят в порядке убывания отклонения значения уровня каждого из выбранных опорных пикселов от среднего значения по всей совокупности этих пикселов и прерывают дальнейшее вычисление контрольной суммы в случае, когда она превышает К-ое минимальное значение контрольной суммы, найденной среди всех уже рассмотренных векторов движения.

10

15

20

25

30

35

40

45

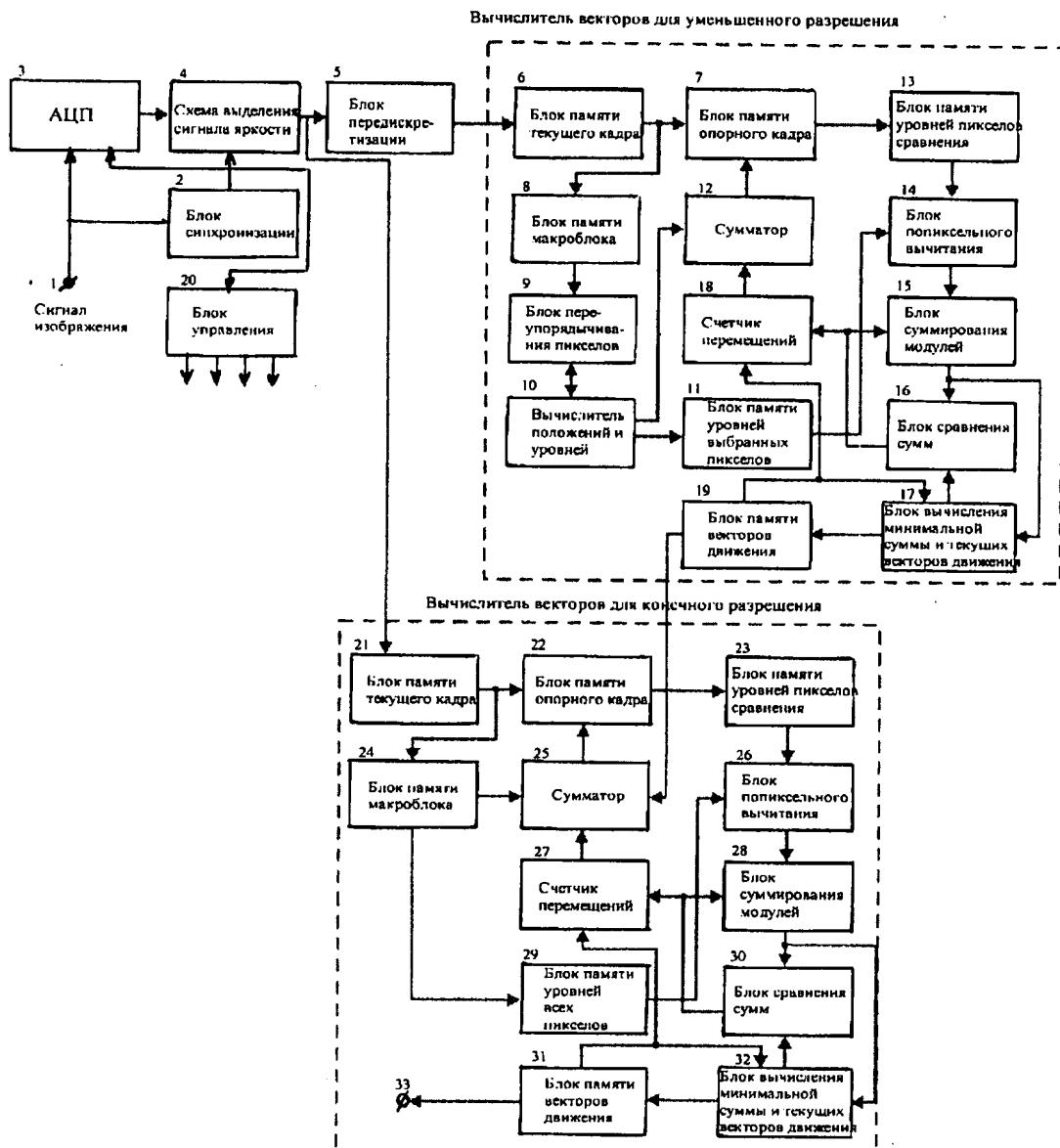
50

55

60

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

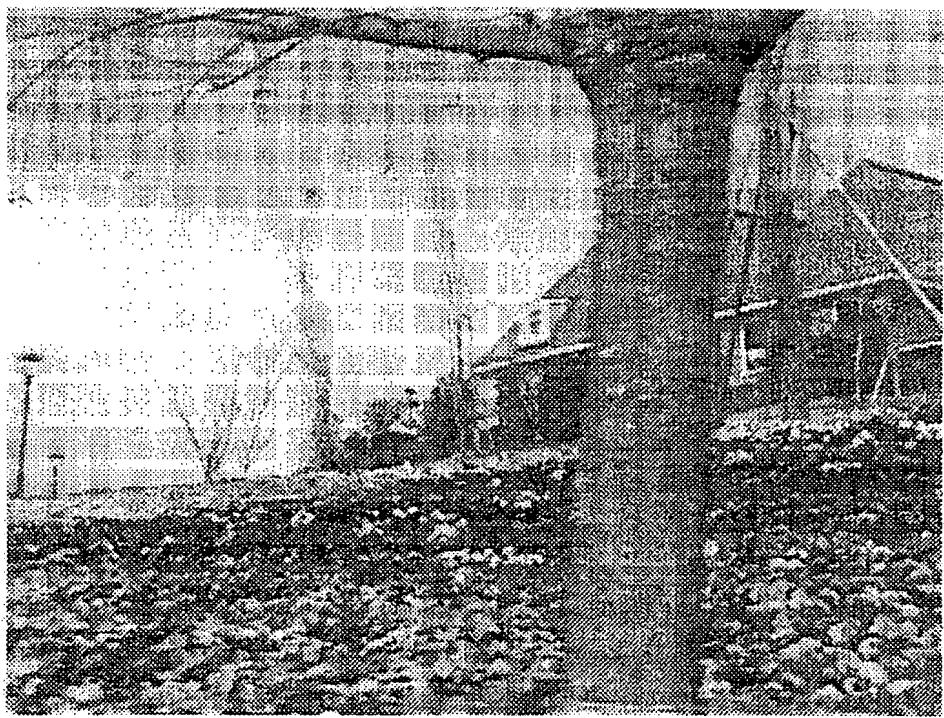


Фиг.1-б

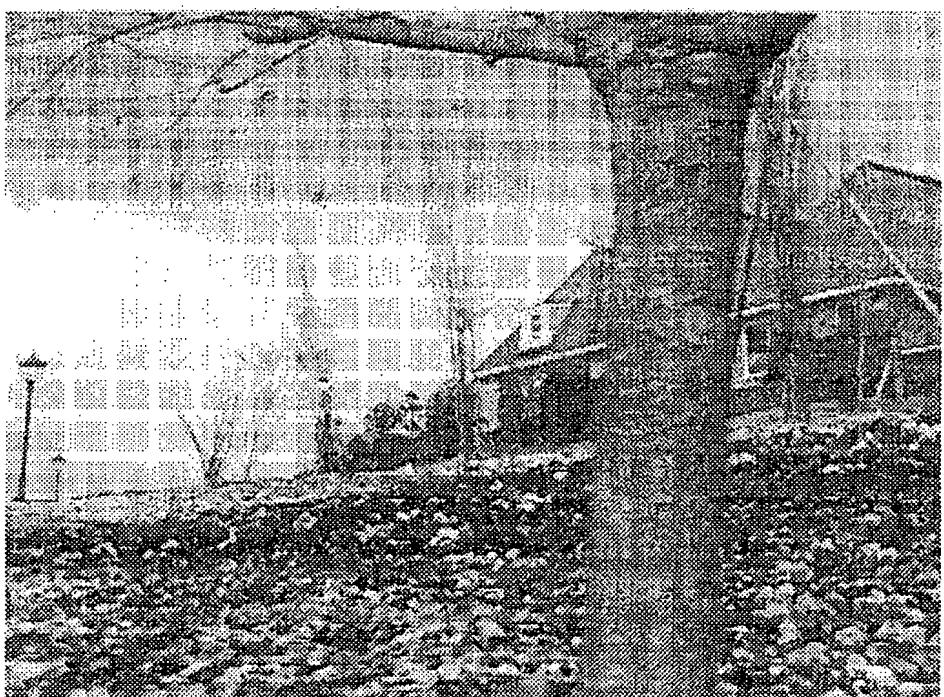
R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

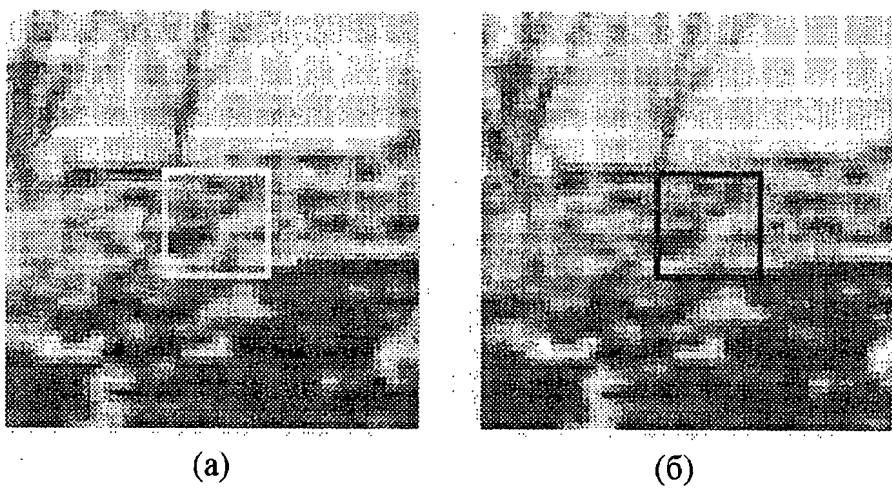


(a)



R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

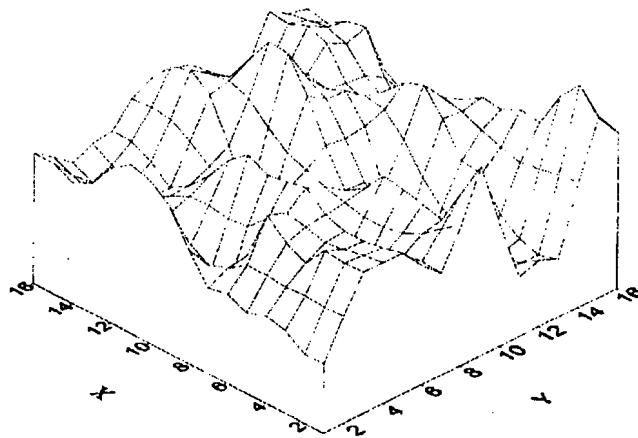
R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2



Фиг.3

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2



(a)

Таблица уровней пикселов в макроблоке

y \ x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	82	<u>81</u>	97	102	94	105	100	132	171	189	<u>196</u>	181	151	140	151	151
2	126	125	127	125	127	127	112	104	117	137	<u>150</u>	144	125	117	125	135
3	167	165	168	142	153	<u>174</u>	115	62	64	87	118	121	86	84	106	117
4	166	163	158	154	161	165	147	126	123	127	125	114	<u>101</u>	103	115	128
5	166	160	156	156	164	183	178	174	186	168	138	115	100	119	131	131
6	140	140	135	128	125	<u>132</u>	<u>145</u>	153	147	128	117	126	143	157	159	157
7	120	122	<u>116</u>	104	75	80	117	136	123	80	82	139	186	203	195	170
8	164	149	<u>131</u>	120	115	115	120	126	134	143	160	182	<u>191</u>	187	178	170
9	221	<u>179</u>	136	142	147	151	125	111	152	197	235	<u>237</u>	204	172	166	163
10	142	120	100	90	87	85	88	109	148	182	195	188	170	150	132	125
11	70	<u>61</u>	55	39	<u>23</u>	24	41	91	151	180	171	141	139	126	95	78
12	78	63	61	64	69	80	103	136	159	163	153	148	153	151	139	131
13	68	61	68	85	120	124	161	188	179	157	134	143	178	186	177	180
14	146	143	138	134	140	148	<u>158</u>	162	151	133	<u>124</u>	140	166	174	170	166
15	210	236	210	169	172	161	163	148	124	110	97	127	174	169	<u>155</u>	161
16	181	189	176	145	120	113	<u>121</u>	124	112	94	86	97	112	<u>110</u>	99	94

(б)

Фиг.4

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

Таблица уровней пикселов

y \ x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	81	82	94	97	100	102	105	132	140	151	151	151	171	181	189	196
2	104	112	117	117	125	125	125	126	127	127	127	127	135	137	144	150
3	62	64	84	86	87	106	115	117	118	121	142	153	165	167	168	174
4	101	103	114	115	123	125	126	127	128	147	154	158	161	163	165	166
5	100	115	119	131	131	138	156	156	160	164	166	168	174	178	183	186
6	117	125	126	128	128	132	135	140	140	143	145	147	153	157	157	159
7	75	80	80	82	104	116	117	120	122	123	136	139	170	186	195	203
8	115	115	120	120	126	131	134	143	149	160	164	170	178	182	187	191
9	111	125	136	142	147	151	152	163	166	172	179	197	204	221	235	237
10	85	87	88	90	100	109	120	125	132	142	148	150	170	182	188	195
11	23	24	39	41	55	61	70	78	91	95	126	139	141	151	171	180
12	61	63	64	69	78	80	103	131	136	139	148	151	153	153	159	163
13	61	68	68	85	120	124	134	143	157	161	177	178	179	180	186	188
14	124	133	134	138	140	140	143	146	148	151	158	162	166	166	170	174
15	97	110	124	127	148	155	161	161	163	169	169	172	174	210	210	236
16	86	94	94	97	99	110	112	112	113	120	121	124	145	176	181	189

Фиг.5
Таблица уровней пикселов

y \ x	1	2	3	4
1	81	102	151	196
2	104	125	127	150
3	62	106	142	174
4	101	125	154	166
5	100	138	166	186
6	117	132	145	159
7	75	116	136	203
8	115	131	164	191
9	111	151	179	237
10	85	109	148	195
11	23	61	126	180
12	61	80	148	163
13	61	124	177	188
14	124	140	158	174
15	97	155	169	236
16	86	110	121	189

Фиг. 6

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

Таблица уровней пикселов

y \ x	1	2	3	4
1	23	61	121	150
2	61	80	126	159
3	61	102	127	163
4	62	106	136	166
5	75	109	142	174
6	81	110	145	174
7	85	116	148	180
8	86	124	148	186
9	97	125	151	188
10	100	125	154	189
11	101	131	158	191
12	104	132	164	195
13	111	138	166	196
14	115	140	169	203
15	117	151	177	236
16	124	155	179	237

Фиг. 7

Таблица уровней пикселов

y \ x	1	2	3	4
1	23	61	121	150
2	81	110	145	174
3	101	131	158	191
4	124	155	179	237

Фиг.8

Таблица уровней пикселов

y \ x	1	2	3	4
1	82	81	189	196
2	112	144	104	150
3	168	174	64	62
4	165	166	103	101
5	119	186	115	100
6	157	157	159	117
7	75	186	195	203
8	115	115	187	191
9	221	111	235	237
10	85	182	188	195
11	24	23	171	180
12	163	64	63	61
13	85	68	68	61
14	166	170	124	174
15	210	110	97	236
16	86	176	181	189

Фиг. 9

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

Таблица уровней пикселов

<u>y \ x</u>	1	2	3	4
1	75	186	68	237
2	210	68	64	62
3	221	64	63	61
4	24	23	235	61

Фиг.10

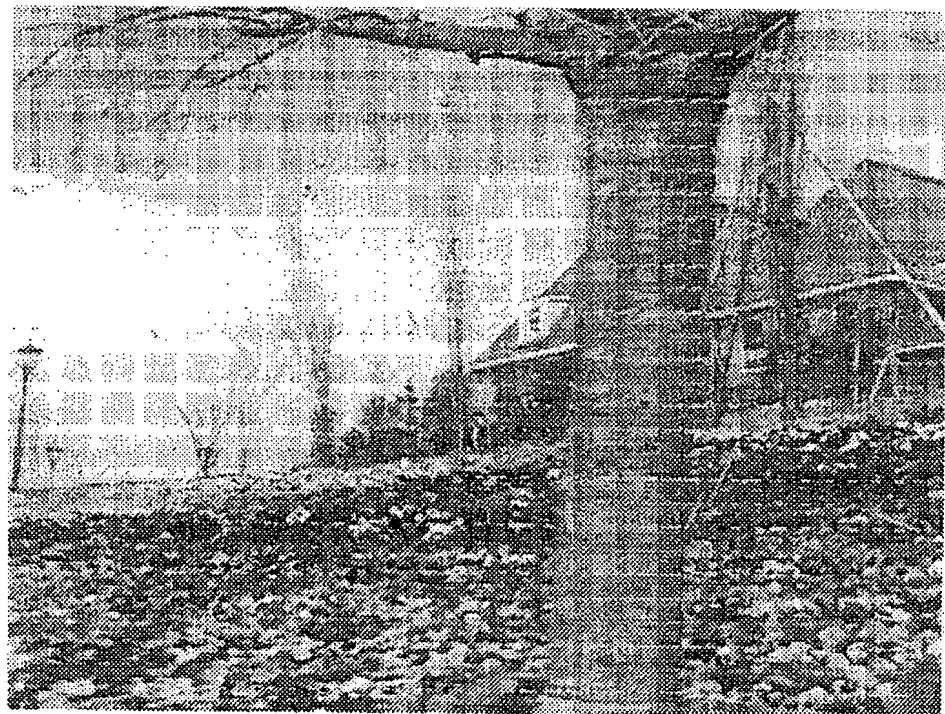
Таблица уровней пикселов

<u>y \ x</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	82	81	97	102	94	105	100	132	171	189	196	181	151	140	151	151
2	126	125	127	125	127	127	112	104	117	137	150	144	125	117	125	135
3	167	165	168	142	153	174	115	62	64	87	118	121	86	84	106	117
4	166	163	158	154	161	165	147	126	123	127	125	114	101	103	115	128
5	166	160	156	156	164	183	178	174	186	168	138	115	100	119	131	131
6	140	140	135	128	125	132	145	153	147	128	117	126	143	157	159	157
7	120	122	116	104	75	80	117	136	123	80	82	139	186	203	195	170
8	164	149	131	120	115	115	120	126	134	143	160	182	191	187	178	170
9	221	179	136	142	147	151	125	111	152	197	235	237	204	172	166	163
10	142	120	100	90	87	85	88	109	148	182	195	188	170	150	132	125
11	70	61	55	39	23	24	41	91	151	180	171	141	139	126	95	78
12	78	63	61	64	69	80	103	136	159	163	153	148	153	151	139	131
13	68	61	68	85	120	124	161	188	179	157	134	143	178	186	177	180
14	146	143	138	134	140	148	158	162	151	133	124	140	166	174	170	166
15	210	236	210	169	172	161	163	148	124	110	97	127	174	169	155	161
16	181	189	176	145	120	113	121	124	112	94	86	97	112	110	99	94

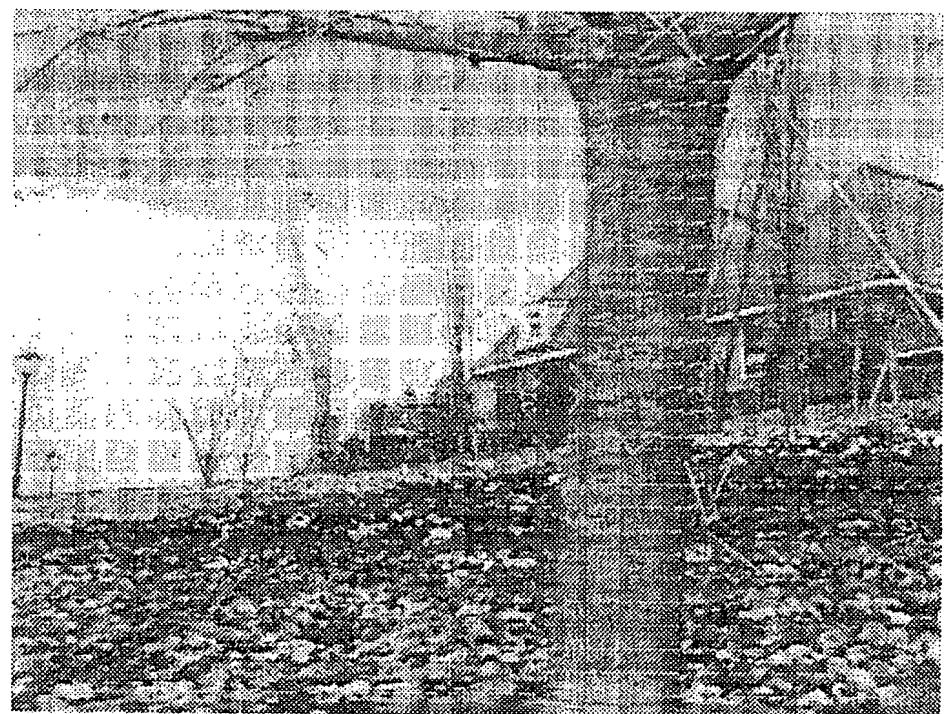
Фиг. 11

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2



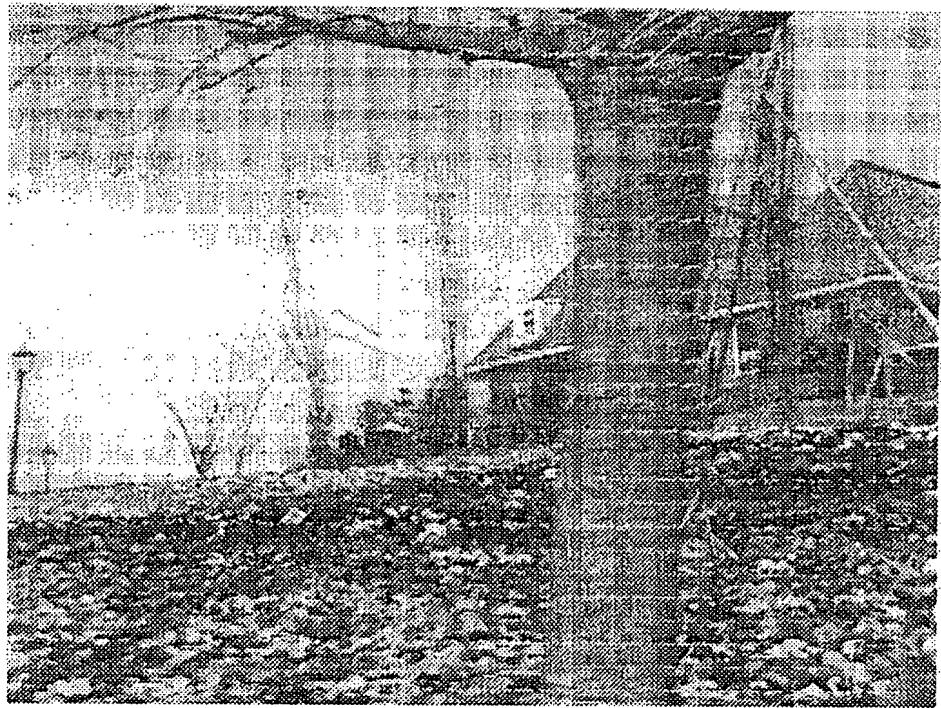
Фиг.12



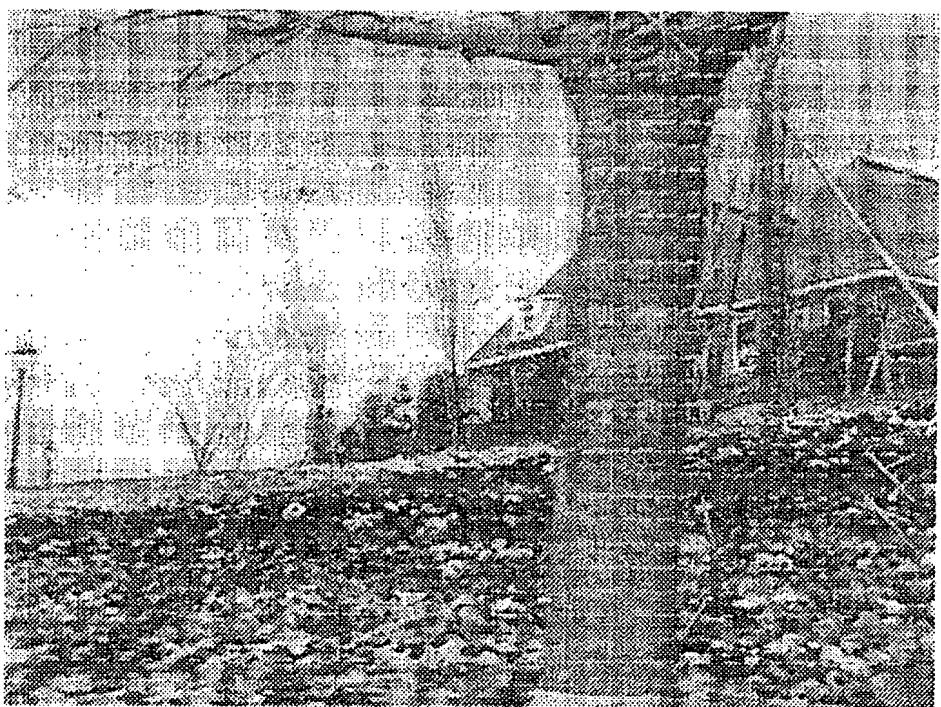
Фиг.13

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2



Фиг.14



Фиг.15

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

RU 2182727 C2

Таблица. Размер кода MPEG-2 (байт) для последовательности "Сад цветов", 97 кадров с разрешением 640x480 пикселов

Конечная точность векторов движения	пп.1 и 3 способа	пп.1 и 4 способа	пп.1 и 5 способа (по Патенту РФ 2137194)	Эталонный способ с использованием 256 пикселов
0.5 пикселя	3317551	3375686	3295558	3242122
1 пиксель	3747245	3767395	3699264	3545362

Фиг.16

Таблица уровней пикселов

y\x	1	2	3	4	5	6	7	8
1	103	112	113	112	153	168	133	148
2	165	155	163	112	100	119	93	116
3	151	143	151	162	157	124	129	144
4	138	117	96	124	120	140	191	178
5	165	117	117	108	169	213	174	146
6	68	54	49	92	163	153	142	110
7	104	106	133	167	155	135	176	173
8	204	175	141	139	110	101	141	127

Фиг. 17

Таблица уровней пикселов

y\x	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Max		Min		Max		Min	
2		Max		Min		Max		
3	Min		Max		Min		Max	
4		Max		Min		Max		
5	Max		Min		Max		Min	
6		Max		Min		Max		
7	Min		Max		Min		Max	
8		Max		Min		Max		

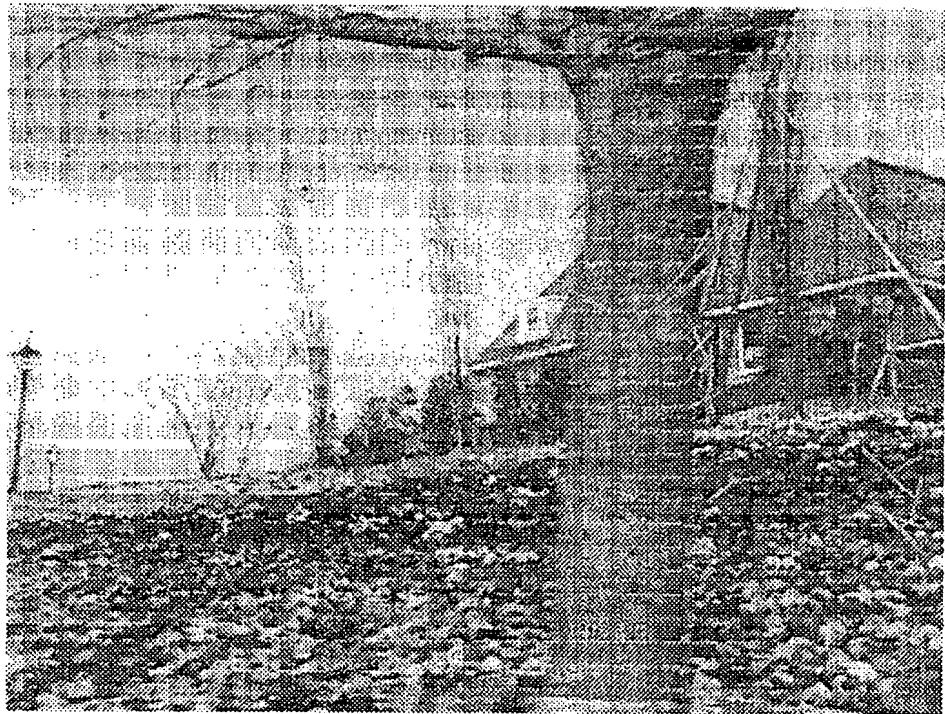
(a)

y\x	1	2	3	4	5	6	7	8
1	103 112	113 112	153 168	133 148				
2	165 155	163 112	100 119	93 116				
3	151 143	151 162	157 124	129 144				
4	138 117	96 124	120 140	191 178				
5	165 117	117 108	169 213	174 146				
6	68 54	49 92	163 153	142 110				
7	104 106	133 167	155 135	176 173				
8	204 175	141 139	110 101	141 127				

(б)

Фиг. 18

RU 2182727 C2



Фиг.19

Таблица. Размер кода MPEG-2 (байт) для последовательности "Сад цветов", 97 кадров с разрешением 640x480 пикселов.

Конечная точность векторов движения	K=1	K=2	K=3
0.5 пикселя	3308449	3276854	3269046
1 пиксель	3648403	3601394	3590763

Фиг.20

Таблица. Размер кода MPEG-2 (байт) для последовательности "Сад цветов", 97 кадров с разрешением 640x480 пикселов.

Конечная точность векторов движения	K=1	K=2	K=3
0.5 пикселя	3350937	3297776	3283745
1 пиксель	3688898	3624819	3606289

Фиг.21

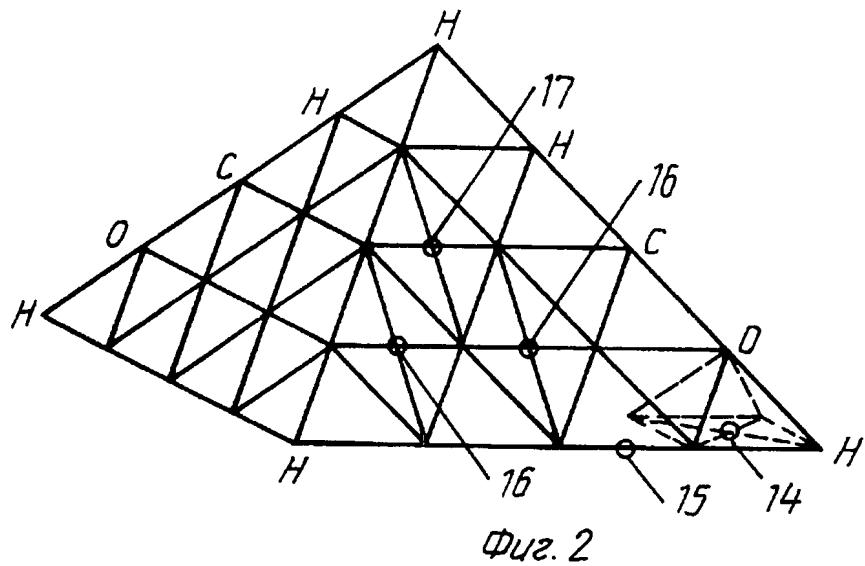


Fig. 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2

R U 2 1 8 2 7 2 7 C 2